

3D プリンタと転写箔を用いた両面基板の製作手法

今井 悠平^{1,a)} 加藤 邦拓^{2,b)} 瀬川 典久^{3,c)} 真鍋 宏幸^{1,d)}

概要：両面の電子回路基板を個人で簡単に作れるようになれば、個人によるモノづくりの幅を大きく広げることができる。本稿では、我々が提案した 3D プリンタと金属転写箔を使用した電子配線印刷手法を発展させ、両面の基板を作る手法を提案する。PLA 樹脂で 3D プリントされた基材に対して、金属転写箔と低融点半田を用いて両面基板を製作した。製作した両面基板に電子部品を実装し、電子回路が動作することを確認した。

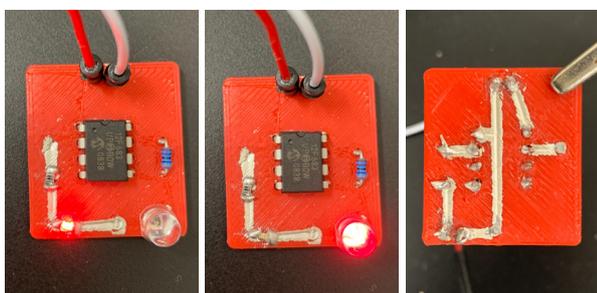


図 1 PLA 樹脂で造形した基材に対して実装した電子回路が動作している様子と基板の裏面。左：表面実装 LED が点灯している様子。中：砲弾型 LED が点灯している様子。右：基板の裏面。

1. はじめに

パーソナルファブリケーションが注目されている [1]。個人によるモノづくりが容易に行えるようになれば、自分の希望に合ったものがすぐに作れるようになる。近年、モノづくりのための機材は個人でも手に入れやすくなってきている。例えば、レーザーカッターや 3D プリンタなど、10 万円以内で購入できるものが登場している。将来的には多くの家庭にこれらの機材が普及し、個人でのモノづくりが一般化していくと予想されている。これにより、物理的な形状は自由に作れるようになってきたが、そこからより複雑なインタラクションを加えるには、電子回路が不可欠になってくる。例えば、組込みシステムや IoT システムを作る場合、電子配線は欠かせない。

電子配線を構築する方法として、高価な機械を使用する

方法や、化学薬品を用いた面倒なプロセスを経る方法などがあるが、これらの方法は誰もが簡単にできるものではない。誰でも電子配線を作成できる方法もあるが、専用の紙の上や、3D プリンタに造形物に組み込むことしかできず、適用範囲が限られている。

簡単に電子配線を作成する手法として、我々は 3D プリンタと金属転写箔を使用した電子配線の印刷手法を提案してきた [2]。この手法では、様々な素材の平面に電子配線を印刷することができる。

本稿では、この手法を応用して 3D プリンタで造形した基材を使用して両面基板を製作する手法を提案する。この手法で両面基板を作ることができれば、様々な素材に電子回路を実装できることが期待される。

2. 関連手法

片面基板のラピッドプロトタイプングの手法の一つとして、AgIC を使用した手法が Kawahara らより提案されている [3]。さらにこれを発展させて両面基板を作る手法も提案されている [4]。これらは専用紙上で専用のインクをインクジェットプリンタで印刷し、配線を作る手法である。

基板を製作する手段として、専用の 3D プリンタ^{*1}がある。これは、PLA 樹脂で造形した物体の中に電子回路を導電性インクで印刷する。しかし、そのような専用の 3D プリンタは、個人で利用するにはあまりにも高すぎるものであった。

他にも、通常のデュアルエクストルーダーの 3D プリンタを使用する手法がある。通常のフィラメントと導電性フィラメントを組み合わせ、造形物に電子配線を埋め込むことができる [5], [6]。導電性フィラメントは直接回路を 3D プリンタで印刷することができるが、FDM 方式の 3D

¹ 芝浦工業大学

² 東京大学

³ 京都産業大学

a) al16010@shibaura-it.ac.jp

b) kkunihir@acm.org

c) sega@acm.org

d) manabehirokyu@acm.org

*1 例えば、Voxel8



図 2 実際に使用したボールキャスタ。0.5mm 径のボールペンの先端を使用している。

プリンタによる 2 色造形の際に、糸引き等が原因で造形品質が低下してしまう問題が報告されている [7]。

3. 提案手法

今回提案する手法は、シングルエクストルーダーの FDM 方式 3D プリンタと金属転写箔、ボールキャスタを用いた両面基板製作手法である (図 1)。我々は、3D プリンタのノズルをボールキャスタに置き換えることで、様々な素材の平面上に電子配線を描くことができる手法を提案してきた [2]。この手法は、配線の印刷時に 3D プリンタによって熱せられたボールキャスタを、印刷したい部分に被せて置いた金属転写箔にピンポイントに当てて転写させる手法である。従来手法では、滑らかな表面の片面に対して配線を描いてきた。様々な種類の基材に適用できることが特徴である。今回は、この手法を応用して比較的低コストで両面基板を製作することを目指す。

両面基板を製作するにあたり、必要になるのがビア (あるいはスルーホール) である。基材にはビアとなる部分にあらかじめ穴をあけておき、(常温の) 棒半田を切って穴を埋めておく。3D プリンタに取り付けたボールキャスタを、半田ごととして使用し、棒半田を上から熱して溶かす。溶かした半田は、両面に印刷された配線に触れ、両面で導通するようになる。

そして今回は、3D プリンタを使用して PLA 樹脂で造形したものを基材として両面基板を製作する。FDM 方式の 3D プリンタで造形した物体は、印刷の性質上表面が平らではなく、従来の手法を適用することはできなかった。そのまま適用した場合、基材表面の凹凸の凸面にのみ箔が転写されてしまう。今回はボール径を小さくし、ボールキャスタの温度を上げ、さらに送り速度を極端に遅くした。これにより基材の凹凸を溶かしながら配線を印刷することができる。

4. 実装・実験

実際に PLA 樹脂で造形した基材に対してビアを作る製

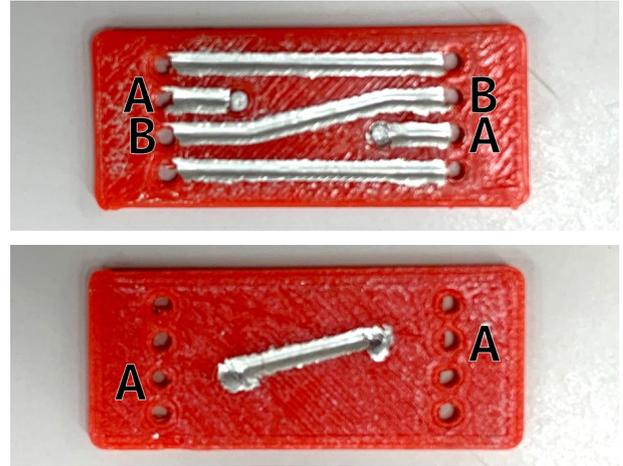


図 3 PLA 樹脂で造形した基材に印刷した基板。点 A 間はビアを経由して導通している。

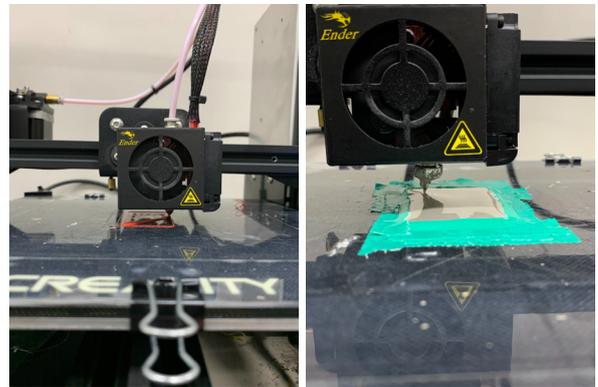


図 4 印刷時の様子。左：通常のノズルで基材を印刷する。右：ノズルをボールキャスタに交換し、片面の配線を印刷する。

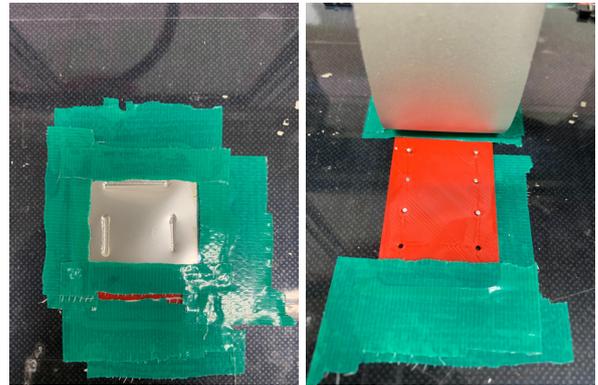


図 5 印刷の過程。左：片面の配線を印刷し終えた直後。右：ビアとなる部分の穴に棒半田を詰める。

作実験を行った。3D プリンタは、CREALITY の Ender-3 pro を使用し、ボールキャスタとして 0.5mm のボールペンの先端を利用する。通常の六角ボルトの頭部の表面に金属ドリルで穴を開け、ボールペンの先端を差し込み、耐熱の金属パテで固定したものを使用した (図 2)。30 × 50 × 1mm の直方体の平面上に、直径 1.5mm の穴を計 8 つ配置したモデル (基材) を 3DCAD ソフトであらかじめ製作しておいた。製作の手順は以下のとおりである。

(1) 製作したモデルを 3D プリンタで印刷する。(図 4 左)

- (2) 印刷された基材を剥がした後、ビルドプレート上に再び配置し、銀ペーストの金属転写箔を基材の上に覆うようにして置き固定する。
- (3) エクストルーダーのノズルを通常のノズルからボールキャストに付け替える。
- (4) ボールキャストを熱した状態で、配線を印刷したい部分に上からボールキャストが押し当たるように 3D プリンタを動かす (図 4 右)。この時のエクストルーダーの設定温度は 200 °C、ビルドプレートの設定温度は 60 °C、ボールキャストの送り速度は 25mm/分である。
- (5) 片面の印刷後、基材を裏返し、再び物体をビルドプレートの上に配置する (図 5 左)。
- (6) ピアを作りたい部分の穴を、低融点半田 (融点 60~70 °C) で埋める (図 5 右)。
- (7) 穴を半田で埋めた基材の上に再び転写箔を置く。
- (8) 転写箔の上から半田に熱を加えて溶かし、半田を両面の配線と導通させた後、4 と同様に配線を印刷する。
- (9) 印刷後、金属転写箔を基材から剥がし、余分な金属箔をブラシで擦り取る。

製作したものを図 3 に示す。この基板は 2 つのピアを持つ。左右に 4 つずつある穴のうち、中の 2 本の配線の位置関係が入れ替わっている基板である。抵抗値を調べたところ、図 3 の点 A 同士間の抵抗値は約 0.9 Ω、点 B 同士間は約 0.6 Ω、それ以外は 0.6 Ωであった。これより、ピアが正しく機能していることが分かった。

5. アプリケーション例

前述の手順に基づいて製作した基板に LED や抵抗、マイクロコントローラなどを実装したアプリケーションを製作した (図 1)。これは、基板中央にマイクロコントローラ (PIC12F683) を配置し、1 秒おきに左右の LED が交互に点灯する電子回路である。右側は砲弾型 LED とアキシャル抵抗で実装し、左側は表面実装タイプの電子部品で実装した。どちらも、手動で低融点半田を使用して実装している。このように、どちらのタイプの電子部品でもはんだ付けによる実装が可能であり、正しく動作することが確認できた。

6. 考察

実際に製作を行っている途中で様々な課題を発見した。まず、使用している半田は、部品取り外し用の低融点はんだであるため、実装後の電子部品に少しでも衝撃を加えると簡単に半田が外れてしまう。しかし、通常の半田 (融点 200 °C 前後) を使用すると、PLA で作られた基材が溶けて変形し、更には基材に印刷した銀ペーストが破損してしまう問題がある。

転写箔を用いた回路作成は、様々な素材の上で行うことができる [2]。今回の提案手法は、様々な素材で両面基板を

製作できる可能性がある。例えば、耐熱性のある素材に印刷すれば、先述の問題が解消できる可能性がある。木材やアクリル板などの上でできれば、デザイン上の自由度が増す。今回は、PLA 樹脂のみを対象としたが、今後は別の素材で両面基板を製作できるか検証を行う必要がある。

7. 結論

FDM 方式の 3D プリンタと金属転写箔、ボールキャストを用いた両面基板製作手法を提案した。実際に PLA 樹脂で造形した基材の両面に電子配線を印刷し、導通が取れることを確認した。また、PLA で作られた基板上で電子部品を実装して動かすことができるアプリケーション例を示した。本手法は、PLA 以外の様々な素材に適用できる可能性がある。

参考文献

- [1] Neil Gershenfeld, 田中 浩也 (監修), 糸川 洋 (訳). Fab パーソナルコンピュータからパーソナルファブ리케이션へ. オーム社, 2012.
- [2] Yuhei Imai, Kunihiko Kato, Norihisa Segawa, and Hiroyuki Manabe. Hot stamping of electric circuits by 3d printer. In *The Adjunct Publication of the 32Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '19, pp. 128–130, New York, NY, USA, 2019. ACM.
- [3] Yoshihiro Kawahara, Steve Hodges, Benjamin S. Cook, Cheng Zhang, and Gregory D. Abowd. Instant inkjet circuits: Lab-based inkjet printing to support rapid prototyping of ubicomp devices. In *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '13, pp. 363–372, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [4] Tung Ta, Masaaki Fukumoto, Koya Narumi, Shigeki Shino, Yoshihiro Kawahara, and Tohru Asami. Interconnection and double layer for flexible electronic circuit with instant inkjet circuits. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, pp. 181–190, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [5] Jesse Burstyn, Nicholas Fellion, Paul Strohmeier, and Roel Vertegaal. PrintPut: Resistive and Capacitive Input Widgets for Interactive 3D Prints. In *15th Human-Computer Interaction (INTERACT)*, Vol. LNCS-9296 of *Human-Computer Interaction - INTERACT 2015*, pp. 332–339, Bamberg, Germany, 2015.
- [6] Kunihiko Kato and Homei Miyashita. 3d printed physical interfaces that can extend touch devices. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16 Adjunct, pp. 47–49, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [7] Jean Hergel and Sylvain Lefebvre. Clean color: Improving multi-filament 3d prints. Vol. 33, pp. 469–478, 2014.